

測量用望遠鏡の視点軌跡の形状並びにこれに 基づく観測誤差について

正員 多 谷 虎 男*

ON THE LOCUS OF COLLIMATION POINTS IN THE SURVEYING TELESCOPES AND THEIR ERROR EFFECTS ON OBSERVATION

By Torao Taya, C.E. Member

Synopsis : Although the methods of photogrammetrical surveying have made a remarkable progress in recent years, yet the methods of traditional ground surveying are necessary not only for the control points surveying of aerotriangulation and for the setting-up of the designed dimensions on the actual ground, but also especially for the geodetic precise surveying of the ground specific points.

Up to this time, among the instrumental errors of the surveying telescopes, it is the observation errors due to the deviation of cross-hairs in reticule, and their adjustment problems, that have come often into question in the civil engineering circles. But, on account of the condition of the development of the surveying instruments in Japan in those days, all the papers in the past on these subjects were concerned to the adjustments of the cross-hairs in the external focussing telescopes, not to the internal focussing telescopes, and there has never been one dealing with the functional relation between the deviation of cross-hairs and the collimation errors. However, from a geodetic precise surveying point of view, it is very important to investigate and to clarify the functional relation between the deviation of cross-hairs and the collimation errors as well as their adjustments, otherwise it would not be possible at all to perform the right adjustments of errors.

In this paper, from the above points of view, the author has analytically investigated the shape of locus of collimation points in various surveying telescopes and has clarified the functional relation between the deviation of cross-hairs and the collimation errors, and furthermore, has verified the correctness of his opinions through the indoor and outdoor experiments.

要旨 従来、測量用望遠鏡の縦横又線の調整法について論じたいく多の論文は、いずれも外焦式望遠鏡の縦横又線の調整法についてのみ論じ、内焦式望遠鏡について論じたものはほとんどなく、また外焦式、内焦式のいずれの場合についても、又線の偏倚と視準誤差との関数関係を論じたものは皆無である。しかしながら又線交点の偏倚と視準誤差との関係並びにその調整は測地学的精密測量の立場からきわめて重要であつて、この点を明確にすることなしには誤差の適正な調整は到底不可能である。本論文は以上のような意味から種々な望遠鏡の視点軌跡の形状を解析して又線の偏倚と視準誤差量との関数関係を明確にするとともに、これらを室内並びに野外実験を通じて検証したものである。

1. 測量用望遠鏡における視点軌跡

望遠鏡の視準線による観測値の誤差は一たん十字線面上に作られた実像と又線交点との相互関係すなわち対物レンズ系（合焦用可動レンズを含む）と又線交点との相互関係によつて定まり、接眼レンズ系は又線と重ねられた実像の拡大を行うだけであるから観測誤差にはほとんど無関係である。また測量用望遠鏡の視野は $1\sim 2^\circ$ であるから、又線交点が偏倚している場合でも観測値の誤差を考える上には通常 Seidel の収差領域を考慮する必要はない。

さて、望遠鏡の十字線面上の定点に合焦によつて次々に像を結ぶような物体点の軌跡を視点軌跡と呼び、その形状を種々な測量用望遠鏡について考えて見よう。

* 日本国有鉄道技師，鉄道技術研究所主任研究員

(a) 接眼鏡可動な型式における視点軌跡

対物レンズが固定で、接眼鏡が十字線と一体となつて可動な構造の望遠鏡である。現在では測量用としては用いられていないが順序としてその視点軌跡について考えて見る。図-1 において器械中心 N を座標原点ととり、望遠鏡光軸を x 軸（器械中心 N 点より標尺面に向う方向を $(+)$ とする）器械の縦軸を y 軸（鉛直下向きの方向を $(+)$ とする）標尺面上の点 S の座標を (x, y) とすれば次のような関係がある。

$$x = 2K_1y + K_2 \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 $K_1 \equiv \frac{f}{l}$, $K_2 \equiv (f+c)$ とする。

すなわち、 S 点の軌跡（視点軌跡）は直線 (1) 式で表わされ、かつ、 $\overline{NP} = K_2$ であつて、 P 点是对物レンズより必ず外側にある。

対物レンズの厚さは通常 10 mm 程度で、また通常 $K_1 = 100$ であるから、対物レンズは薄肉レンズとして取扱つてもほとんど差支えないが、厚肉レンズとして取扱う場合でも第 1 主要面、第 2 主要面の間隔を一種の間げきのように見なせば (1) 式はそのまま成立する。

この型式の望遠鏡はその視点軌跡が (1) 式で示されるように完全に直線であるから、理論的には測量用望遠鏡としてきわめて望ましい性質を具備しているわけであるが、実際上は合焦の際における十字線の動揺を避けることが構造上ほとんど不可能であり、この動揺がじかに倍率を以て視点軌跡の直線度に影響するから、誤差がかえつて大きく測量用望遠鏡として望ましくない。

(b) 対物鏡可動な型式（外焦式望遠鏡）における視点軌跡

この型式はわが国では戦前から現場で使用されている旧型式の測量用望遠鏡である。

この場合にも (a) の場合と同様につきの式が成立する。

$$D = \frac{f}{l}L + (f+C) = K_1L + K_2 \dots \dots \dots (2)$$

ただし、 $K_1 \equiv \frac{f}{l}$, $K_2 \equiv f+C$

(a) の場合では C は一定（従つて K_2 は一定）であつたが、この場合には C は厳密には一定ではなく C は D の関数である。すなわち、

$$C^2 - C(D-k) + f(D+k) - Dk = 0 \dots \dots \dots (3)$$

今、視準物点 S の x, y 座標系 (N を原点、 \overline{NM} を x 軸、 N を通る下向き鉛直線を y 軸とする) による座標を (x, y) とすれば、

$$x = D \dots \dots \dots (4)$$

$$y = \frac{L}{2} = \frac{(D-K_2)}{2K_1} = \frac{(D-f-C)}{2K_1} \dots \dots \dots (5)$$

(3), (4), (5) 式から次式が得られる。

$$2K_1y^2 - xy + y(2f-k) + \frac{fl}{2} = 0 \dots \dots \dots (6)$$

(6) 式は又線交点から $l/2$ の偏倚を有する十字線面上の一定点に像を結ぶ多数の物体点の軌跡すなわち視点軌跡の曲線形を示す方程式で、この二次曲線方程式は図-2 のような双曲線である。そしてその漸近線は、 x, y 座標軸の原点 N を $T(x_1, y_1)$ に平行移動して得る新座標軸を X, Y とすれば、

$$2K_1Y^2 - XY = 0 \dots \dots \dots (7)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ただし、} \quad & x_1 = 2f - k = f + C_\infty \\ & y_1 = 0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (8)$$

$\overline{NP} = f + C$ なる光軸上の点を P とすれば、 T 点は無限

図-1

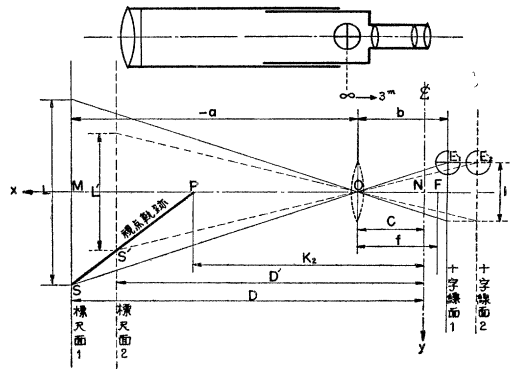
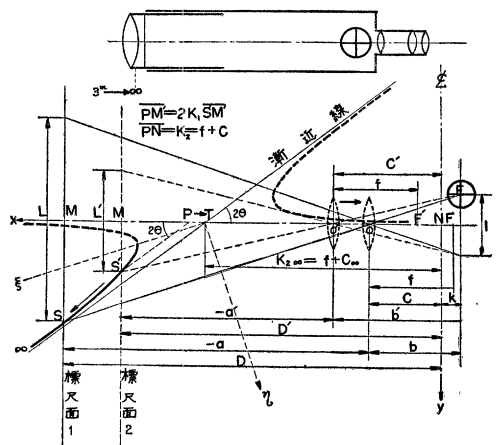


図-2



遠視準のときの P 点である。すなわち

$$T = P_{\infty}$$

従つて外焦式では、 D が増大するにつれて C は減少するから、 P 点は観測者に近い方に向つて移動し、ついに ∞ 遠点視準のときに T 点に収斂する。ゆえに外焦式で C の変化を考慮した場合にも、つぎのごとく結論することができる。すなわち、“十字線面上の一定点 E に対応する物体点 S の軌跡すなわち視点軌跡は双曲線 (6) の一分枝であつて、その漸近線は十字線面上における E 点の位置のいかんに関せず常に光軸上の定点 T を通る。換言すれば、十字線面上の任意の一定点 E に対応する物体点 S が無限遠に移動する場合には、点 P は、 E 点の十字線面上における位置のいかんに関せず常に定点 T に収斂する”。

(c) 合焦用内部凸レンズの可動な型式における視点軌跡

この型式の望遠鏡は次項 (d) において述べる型式とともに広義の内焦式と呼ばれるものである。しかしながら次項 (d) において述べるような理由から、現今では本項のような型式は通常使用せられず、もつぱら次項の型式が用いられるので、通常内焦式といえは次項の型式を指すのが普通である。従つて本項は次項に付随してその異なる点についてのみ述べることにする。

(d) 合焦用内部凹レンズの可動な型式 (狭義の内焦式望遠鏡) における視点軌跡

この型式の望遠鏡は新しい型式の測量用望遠鏡として現今使用せられているもので、最も重要な型式であるから、以下その視点軌跡について、以上の型式のものよりも厳密に考察することにする。なお前項の型式が異なる点については括弧内に付記して説明することとし、図面は同一番号の (a) を本項に対するもの、(b) を前項に対するものとして挿入することとする。

図-3

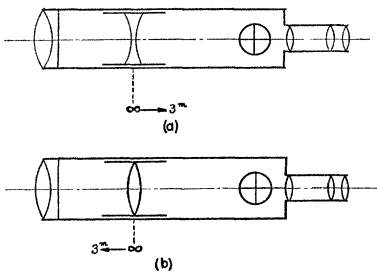
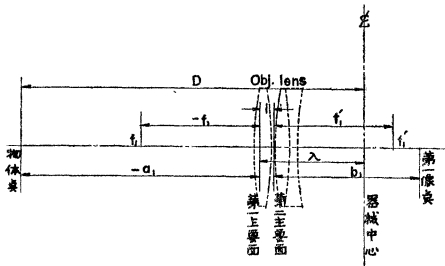


図-4



さて、まず対物組合せレンズによる点物体の像点の位置を計算しよう。対物組合せレンズの第一主面より物体点に至る距離を a_1 、第二主面より第一像点に至る距離を b_1 、対物組合せレンズの第一主焦点距離を f_1 、第二主焦点距離を f_1' とし符号の規約を前のごとく図面上で右側に向う方向およびこれに直角上向き方向をそれぞれ正とすれば

$$\frac{1}{b_1} - \frac{1}{a_1} = \frac{1}{f_1'} \dots\dots\dots (9)$$

$$\therefore b_1 = \frac{a_1 f_1'}{a_1 + f_1'} = \frac{-(D - \lambda) f_1'}{-(D - \lambda) + f_1'} = \frac{(D - \lambda) f_1'}{D - \lambda - f_1'} \dots\dots\dots (10)$$

つぎに上記の像点の合焦用凹 (または凸) レンズによる第二の像点位置を計算せんに 図-5 (a), (b) のような関係と (10) 式とから次式が成立する。

図-5

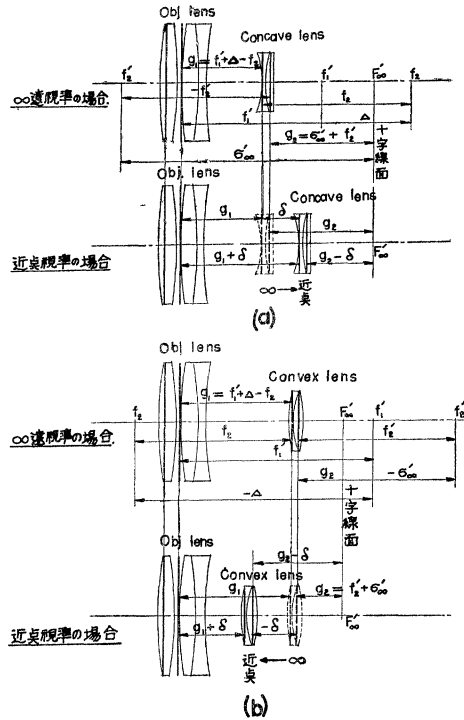
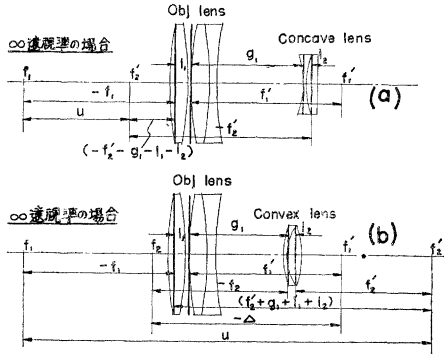


図-6



$$\frac{(D-\lambda)f_1'}{D-\lambda-f_1'} - g_1 - \delta = \frac{f_2'(g_2 - \delta)}{f_2' - g_2 + \delta} \dots\dots (11)$$

また 図-6 (a), (b) から

$$u = -f_1 + f_2' + g_1 + i_1 + i_2 = 2f_1' - 2f_2 + \Delta + i_1 + i_2 \dots\dots (12)$$

ただし、 Δ は Optical interval と呼ばれるものである。

従つて、図-7 (a), (b) から第一および第二合成主要面間隔 w は、

$$w = u + \delta - 2f' + \sigma' - \sigma \dots\dots (13)$$

ただし、 f, f' はそれぞれ合成の第一および第二、主焦点距離を示すものとす。しかるに一般の場合の Optical interval すなわち $\Delta + \delta$ を Δ' とすれば、

$$f = -f' = \frac{f_1 f_2}{\Delta'} = \frac{f_1' f_2'}{\Delta'} = \frac{f_1 f_2}{\Delta + \delta} \dots\dots (14)$$

$$\sigma = \frac{f_1 f_1'}{\Delta + \delta} \dots\dots (15)$$

$$\sigma' = \frac{-f_2 f_2'}{\Delta + \delta} \dots\dots (16)$$

ゆえに第二合成主要面と器械中心との距離を C とすれば 図-8 (a), (b) より、

$$C = -f_2' - g_1 - \delta - i_1 - i_2 - \sigma' + f' + \lambda$$

$$\therefore -f_2' - g_1 - i_1 - i_2 + \lambda = \nu \dots\dots (17)$$

とおけば

$$C = \nu - \delta - \sigma' + f' \dots\dots (18)$$

ゆえに第一合成主要面より物体点までの距離を a 、第二合成主要面より十字線面（実像点）までの距離を b 、とすれば、全対物レンズ系について次の二式が成立する。

$$\frac{b}{a} = \frac{l}{L} \dots\dots (19)$$

$$\frac{1}{b} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f'} \dots\dots (20)$$

$$\therefore D = f' \left(\frac{L}{l} + 1 \right) + w + C \dots\dots (21)$$

今、(b) 項の外焦式の場合と同様に、器械中心 N を原点とし望遠鏡光軸を x 軸、 N を通り下向きに鉛直な直線を y 軸とする座標系を考えるならば、物体点 S の座標は (21) 式から、

$$\left. \begin{aligned} x &= D \\ y &= \frac{L}{2} = \frac{(D - f' - w - C)l}{2f'} \end{aligned} \right\} \dots\dots (22)$$

図-7

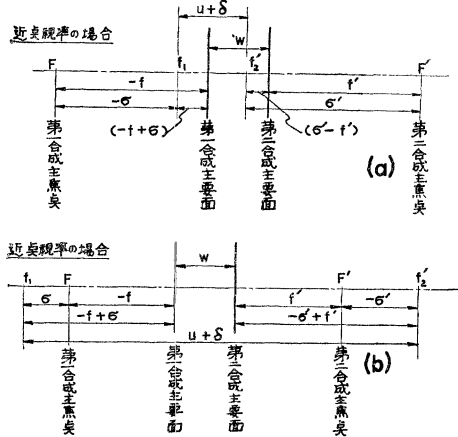


図-8

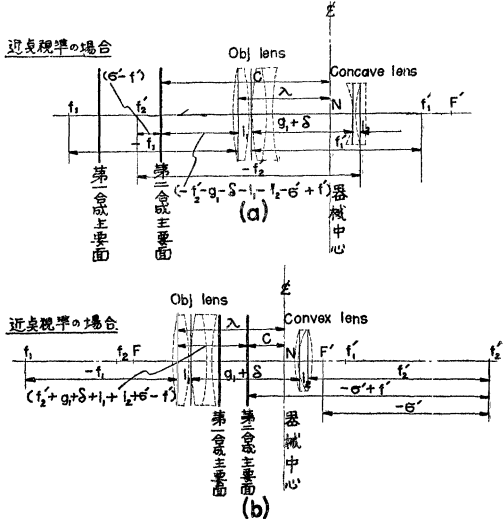
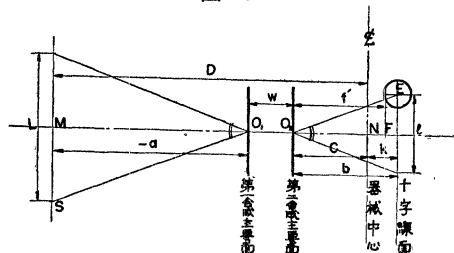


図-9



である。

$$\therefore 2f'y = (x - f' - w - C)l \dots\dots\dots (23)$$

しかるに (13), (14), (15), (18) を用いて,

$$w + C + f' = \mu + \delta - 2f' + \sigma' - \sigma + \nu - \delta - \sigma' + 2f'$$

$$= \mu + \nu - \sigma$$

ゆえに

$$2y \left(\frac{-f_1' f_2'}{d + \delta} \right) = \left(x - \mu - \nu + \frac{f_1 f_1'}{d + \delta} \right) l$$

$$\therefore \delta = \frac{-f_1' (f_1 l + 2f_2' y)}{(x - \mu - \nu) l} - d \dots\dots\dots (24)$$

(24) 式を (11) 式に代入して

$$\left\{ \frac{(x - \lambda) f_1'}{x - \lambda - f_1'} - g_1 + \frac{f_1' (f_1 l + 2f_2' y)}{(x - \mu - \nu) l} + d \right\} \cdot \left\{ f_2' - g_2 - \frac{f_1' (f_1 l + 2f_2' y)}{(x - \mu - \nu) l} - d \right\} = f_2' \left\{ g_2 + \frac{f_1' (f_1 l + 2f_2' y)}{(x - \mu - \nu) l} + d \right\} \dots\dots\dots (25)$$

しかるに (12), (17) 式より

$$\mu + \nu = 2f_1' - 2f_2 + d + i_1 + i_2 - f_2' - g_1 - i_1 - i_2 + \lambda$$

$$= 2f_1' - f_2 + d - (f_1' + d - f_2) + \lambda = f_1' + \lambda$$

ゆえに (25) 式は次のようになる。

$$\left\{ \frac{(x - \lambda) f_1'}{x - \lambda - f_1'} - g_1 + \frac{f_1' (f_1 l + 2f_2' y)}{(x - \lambda - f_1') l} + d \right\} \cdot \left\{ f_2' - g_2 - \frac{f_1' (f_1 l + 2f_2' y)}{(x - \lambda - f_1') l} - d \right\} = f_2' \left\{ g_2 + \frac{f_1' (f_1 l + 2f_2' y)}{(x - \lambda - f_1') l} + d \right\}$$

これを計算して簡単にすれば、次式が得られる。

$$l^2 f_2'^2 x^2 + 2f_1' f_2' l (\sigma_{\infty}' + d) xy + 4f_1^2 f_2'^2 y^2 - 2x l^2 f_2'^2 (\lambda + f_1')$$

$$- 2y f_1' f_2' \{ (\sigma_{\infty}' + d) (\lambda + f_1') + f_1'^2 \} l + f_2'^2 l^2 (\lambda^2 + 2\lambda f_1' + f_1'^2) = 0$$

さらに

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\infty}' + d &= r \\ \lambda + f_1' &= \zeta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (26)$$

とおけば,

$$l^2 f_2'^2 x^2 + 2f_1' f_2' l r xy + 4f_1^2 f_2'^2 y^2 - 2l^2 f_2'^2 \zeta x - 2f_1' f_2' (r\zeta + f_1'^2) ly + f_2'^2 l^2 \zeta^2 = 0$$

ゆえにつきのような x, y に関する方程式が得られる。

$$\Phi(x, y) \equiv l^2 f_2'^2 x^2 + 2f_1' f_2' l r xy + 4f_1^2 f_2'^2 y^2 - 2l^2 f_2'^2 \zeta x - 2f_1' f_2' (r\zeta + f_1'^2) ly + f_2'^2 l^2 \zeta^2 = 0 \dots\dots\dots (27)$$

(27) 式は物体点 S の軌跡, すなわち視点軌跡を示す方程式である。この二次曲線の判別式は

$$\text{判別式} \equiv \begin{vmatrix} l^2 f_2' & f_1' l r & -l^2 f_2' \zeta \\ f_1' l r & 4f_1^2 f_2' & -f_1' l (r\zeta + f_1'^2) \\ -l^2 f_2' \zeta & -f_1' l (r\zeta + f_1'^2) & l^2 f_2'^2 \zeta^2 \end{vmatrix} = -l^4 f_1^6 f_2'$$

ゆえに (27) 式は $l \neq 0$ なる限り、直線を表わさない。

また、

$$\begin{vmatrix} l^2 f_2' & f_1' l r \\ f_1' l r & 4f_1^2 f_2' \end{vmatrix} = l^2 f_1^2 (2f_2' + r)(2f_2' - r)$$

しかるに $2f_2' + r = 2f_2' + \sigma_{\infty}' + d = 2f_2' - \frac{f_2 f_2'}{d} + d$

$$= \frac{(f_2' + d)^2}{d}$$

$$= \begin{cases} > 0. \text{ (Negative Lens)} \\ < 0. \text{ (Positive Lens)} \end{cases}$$

また,

$$\begin{cases} 2f_2' < 0. \text{ (Negative Lens)} \\ \text{''} > 0. \text{ (Positive Lens)} \end{cases}$$

$$\begin{cases} -r < 0. \text{ (Negative Lens)} \\ \text{''} > 0. \text{ (Positive Lens)} \end{cases}$$

ゆえに、凹レンズ, 凸レンズ, いずれの場合にも

$$l^2 f_1^2 (4f_2'^2 - r^2) < 0.$$

ゆえに、(27) 式はいかなる場合にも常に双曲線を表わす方程式である。すなわち内焦点の場合においても視

点軌跡は双曲線である。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial x} &= 2l^2 f_2' x + 2f_1' l r y - 2l^2 f_2' \zeta = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial y} &= 8f_1^2 f_2' y + 2f_1' l r x - 2f_1' (r\zeta + f_1^2) l = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (28)$$

(28) 式を連立方程式として解いて、その解を x_1, y_1 とすれば、

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \zeta - \frac{r f_1'^2}{4f_2'^2 - r^2} \\ y_1 &= \frac{l f_1' f_2'}{4f_2'^2 - r^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (29)$$

すなわち内焦点の場合には外焦点の場合と異なり、双曲線の中心 T は $l \neq 0$ なる限り、 x 軸上にはない。座標原点を $T(x_1, y_1)$ に移し、座標軸を平行移動すれば方程式 (27) 式はつぎの形に変形せられる (新座標軸を X, Y とする)。

$$l^2 f_2' X^2 + 2f_1' l r XY + 4f_1^2 f_2' Y^2 + \Phi(x_1, y_1) = 0 \dots\dots\dots (30)$$

(30) 式で表わされる双曲線の漸近線の方程式は、

$$\begin{aligned} l^2 f_2' X^2 + 2f_1' l r XY + 4f_1^2 f_2' Y^2 &= 0 \\ (2f_1' f_2' Y + l r X) \left(2f_1' Y - \frac{f_2' l}{r} X \right) &= 0 \end{aligned}$$

ゆえに、

$$\left. \begin{aligned} 2f_1' f_2' Y + l r X &= 0 \\ 2f_1' Y - \frac{f_2' l}{r} X &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (31)$$

(31) 式の第一式より

$$Y = -\frac{l r}{2f_1' f_2'} X = -\frac{l}{2f_{\infty}'} X = -\frac{1}{2K_1} X \dots\dots\dots (32)$$

ただし、 f_{∞}' は無限遠視準時の第二合成主焦点距離を示す。また (31) 式の第二式より、

$$Y = \frac{f_2' l}{2f_1' r} X = \frac{f_{\infty}'}{2f_1^2} l X \dots\dots\dots (33)$$

しかるに、

$$\left. \begin{aligned} |f_{\infty}'| &> |f_1| \text{ (Negative Lens)} \\ &< &< &< \text{ (Positive Lens)} \end{aligned} \right\}$$

従つて、

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{f_{\infty}^2} &< \frac{1}{f_1^2} \text{ (Negative Lens)} \\ &> &> &> \text{ (Positive Lens)} \\ \therefore \frac{1}{f_{\infty}'} &< \frac{f_{\infty}'}{f_1^2} \text{ (Negative Lens)} \\ &> &> &> \text{ (Positive Lens)} \end{aligned} \right\}$$

ゆえに漸近線 (32) 式の方角係数は漸近線 (33) 式の方角係数よりもその値が、
 Negative internal Lens のとき小 }
 Positive internal Lens のとき大 }

二つの漸近線 (32) および (33) がなす交角を φ とすれば、

$$\tan \varphi = \frac{2l(f_{\infty}' - f_1^2)}{(4f_1^2 + l^2)f_{\infty}'} \dots\dots\dots (34)$$

ゆえに、 $l \rightarrow 0$ ならば、 $\varphi \rightarrow 0$ となる。

つぎに (30) 式を標準形に直せば次のような形になる。

$$a_{11}' \xi^2 + a_{22}' \eta^2 + \Phi(x_1, y_1) = 0 \dots\dots\dots (35)$$

ここに、

$$\left. \begin{aligned} a_{11}' &= \frac{1}{2} \{ (l^2 + 4f_1^2) f_2' + \sqrt{(l^2 - 4f_1^2)^2 f_2'^2 + 4l^2 r^2 f_1'^2} \} \\ a_{22}' &= \frac{1}{2} \{ (l^2 + 4f_1^2) f_2' - \sqrt{(l^2 - 4f_1^2)^2 f_2'^2 + 4l^2 r^2 f_1'^2} \} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (36)$$

(Negative Lens)

$$\left. \begin{aligned} a_{11}' &= \frac{1}{2} \left\{ (l^2 + 4f_1^2)f_2' - \sqrt{(l^2 - 4f_1^2)^2 f_2'^2 + 4l^2 r^2 f_1'^2} \right\} \dots\dots\dots (36)' \\ a_{22}' &= \frac{1}{2} \left\{ (l^2 + 4f_1^2)f_2' + \sqrt{(l^2 - 4f_1^2)^2 f_2'^2 + 4l^2 r^2 f_1'^2} \right\} \end{aligned} \right\}$$

(Positive Lens)

なお、この双曲線の ξ, η 座標軸による漸近線の方程式を $\eta = A\xi + B$ とすれば、その係数 A, B は次のごとくである。

$$A = \pm \left\{ \frac{\sqrt{(l^2 - 4f_1^2)^2 f_2'^2 + 4l^2 r^2 f_1'^2} + (l^2 + 4f_1^2)f_2'}{2lf_1' \sqrt{(r^2 - 4f_2^2)}} \right\} \dots\dots\dots (37)$$

$$B = 0$$

また X, Y 座標軸から ξ, η 座標軸に至る座標軸の回転角 θ は、

$$\tan \theta = \frac{-f_2'(l^2 - 4f_1^2) + \sqrt{(l^2 - 4f_1^2)^2 f_2'^2 + 4f_1'^2 l^2 r^2}}{2f_1' l r} \dots\dots\dots (38)$$

最後にこの双曲線の漸近線と光軸 (x 軸) との交点を求めておこう。点 $T(x_1, y_1)$ を通り方向係数 $1/2 K_1$ なる直線の x, y 座標軸による方程式は、

$$(y - y_1) = \frac{1}{2K_1} (x - x_1)$$

この直線と x 軸との交点 (x_0, y_0) は、上式に $y=0$ とおいて、

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= x_1 - 2K_1 y_1 \\ y_0 &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (39)$$

(39) 式はすなわち、視点軌跡の方の漸近線と光軸との交点の座標を示す式である。以上の解析結果から本項および前項の場合の視点軌跡の光学的諸関係を図示すれば 図-10 (a), (b) のごとくである。

(e) 内部凹レンズ固定、合焦用内部凸レンズ可動な型式における視点軌跡

この型式は西独 Zeiss Opton 製二等水準儀 N_2 においてその構造上の特別の理由から使用せられているもので、特殊なものであるから、本稿においては省略する (図-11 参照)。

図-10

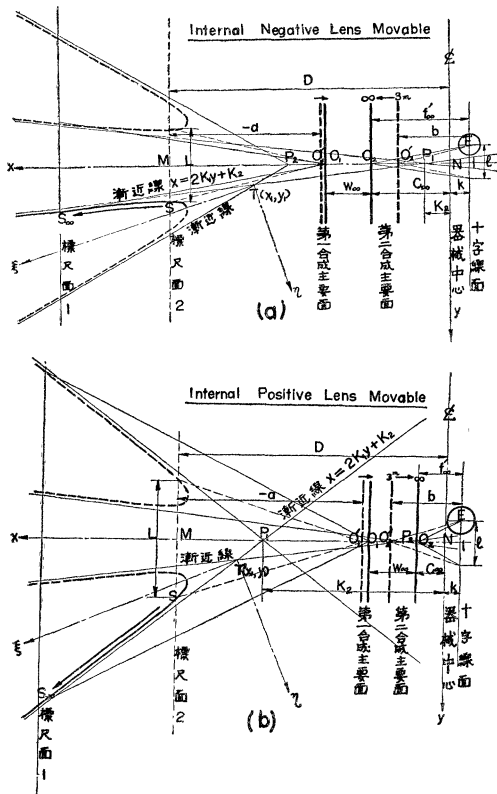
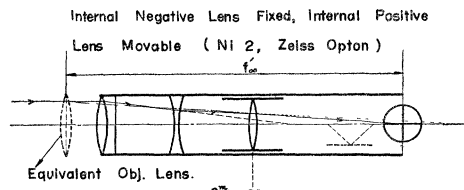


図-11



2. 又線の偏倚による直線度誤差の実際値

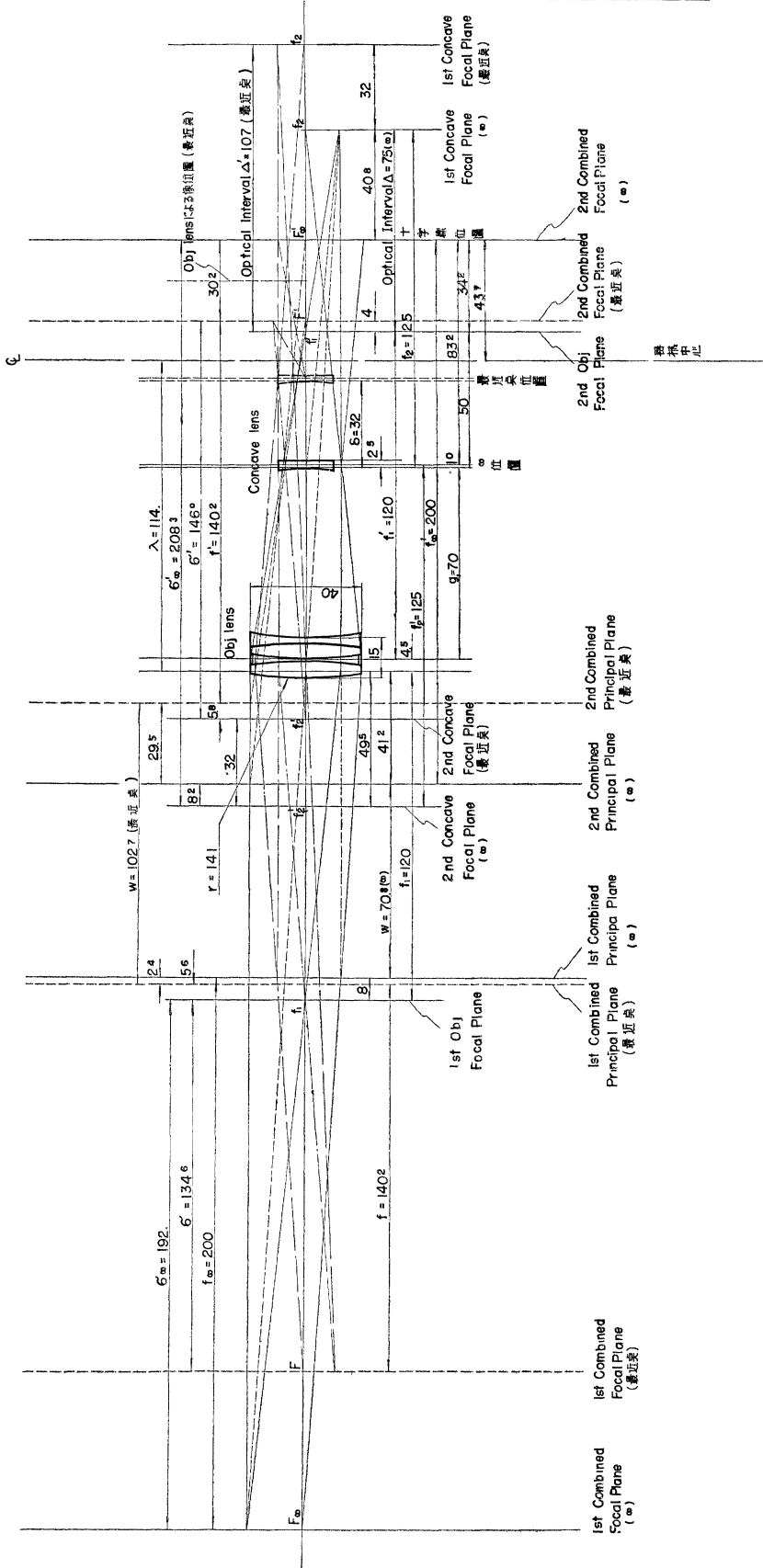
つぎに視点軌跡の直線度誤差の実際値を、諸種の望遠鏡型式のうち、狭義の内焦式望遠鏡について計算した結果を示す。

図-12 は Wild T 3, T 4, Gigas 式 Askania または子午儀などの内焦式高精度セオドライト望遠鏡における視点軌跡の直線度誤差を推定する目的で、国産測量用望遠鏡としては最高精度を有する測機舎製 $20''$ 読み内焦式 $5\frac{1}{2}$ in トランシット望遠鏡を分解し、実測して得た対物レンズ系の諸寸法および諸関係を図示したものである。

今対物レンズ系の諸寸法および諸常数の実測値から得た主要諸元の計算結果を摘記すれば、次の通りである。

- { 対物組合せレンズ有効口径 = 40 mm
- " 主要面間隔 = 4.5 mm
- " 主焦点距離 $f_1' = -f_1 = 120$ mm
- 合焦用貼合せ凹レンズ主要面間隔 = 1.0 mm
- " 主焦点距離 $= f_2' = -f_2 = -125$ mm

図-12 5 1/2 in TRANSIT OBJECTIVE LENS SYSTEM 諸関係現寸図



全対物レンズ系合成主焦点位置;

$$\begin{aligned} \infty \text{ 遠合焦時} & \begin{cases} \sigma_{\infty} = f_1 F_{\infty} = -192.0 \text{ mm} \\ \sigma_{\infty}' = f_2' F_{\infty}' = 208.333 \text{ mm} \rightarrow 4 \end{cases} \\ \text{最近点合焦時} & \begin{cases} \sigma = f_1 F = -134.579 \text{ mm} \rightarrow 80 \\ \sigma' = f_2' F' = 146.028 \text{ mm} \rightarrow 9 \end{cases} \end{aligned}$$

全対物レンズ系合成主要面間隔;

$$\begin{aligned} \infty \text{ 遠合焦時} & w_{\infty} = 70.833 \text{ mm} \rightarrow 4 \\ \text{最近点合焦時} & w = 102.733 \text{ mm} \rightarrow 7 \end{aligned}$$

全対物レンズ系合成主焦点距離;

$$\begin{aligned} \infty \text{ 遠合焦時} & f_{\infty}' = -f_{\infty} = 200.0 \text{ mm} \\ \text{最近点合焦時} & f' = -f = 140.186 \text{ mm} \rightarrow 7 \end{aligned}$$

全対物レンズ系第一合成主要面位置;

$$\begin{aligned} & \text{対物組合せレンズ第一主要面の前方,} \\ & \begin{cases} \infty \text{ 遠合焦時} & 111.999 \text{ mm} \rightarrow 2.001 \\ \text{最近点合焦時} & 114.388 \text{ mm} \rightarrow 98 \end{cases} \end{aligned}$$

全対物レンズ系第二合成主要面位置;

$$\begin{aligned} & \text{対物組合せレンズ第一主要面の前方} \\ & \begin{cases} \infty \text{ 遠合焦時} & 41.166 \text{ mm} \rightarrow 7 \\ \text{最近点合焦時} & 11.655 \text{ mm} \rightarrow 61 \end{cases} \end{aligned}$$

さらに以上の資料をもととして光軸より 1 mm 偏倚せる十字線面上の点 (Stadia 線位置) に対する視点軌跡の x, y 座標軸による方程式を算出すれば, (単位: mm)

$$\begin{aligned} & -5 \times 10^2 x^2 + (1.359998 \rightarrow 60004) \times 10^5 xy - 7.2 \times 10^6 y^2 + 2.34 \times 10^5 x \\ & \quad - (3.873596 \rightarrow 608) \times 10^7 y - 2.7378 \times 10^7 = 0 \\ & x_1 = 463.494 \text{ mm} \rightarrow .503 \\ & y_1 = 1.687 \text{ mm} \rightarrow 8 \end{aligned}$$

また X, Y 座標軸による視点軌跡の方程式は

$$-5 \times 10^2 X^2 + 1.36 \times 10^5 XY - 7.2 \times 10^6 Y^2 - (5.764478 \rightarrow 899462) \times 10^6 = 0$$

二つの漸近線の方程式は

$$\begin{cases} X = 200 Y & (\text{視点軌跡の漸近線}) \\ X = 72 Y \end{cases}$$

この望遠鏡の ∞ 遠視準 (視点軌跡の漸近線) を基準とせる Stadia 常数は,

$$K_1 = 100, K_2 = 125.9886 \text{ mm} \rightarrow 6.0112$$

以上の結果をもととしてさらに視点軌跡の直線度誤差を計算した結果を示せば表-1の通りである。

この表からもわかるように視点軌跡の直線度誤差は一般に望遠鏡の工作誤差, 分解能による誤差等, 通常望遠鏡として当然避けがたい誤差の中に十分埋没する程度にきわめて微小である。

3. K_2 の異なる 2 つの望遠鏡の比較および $K_2 = 0$ なる望遠鏡の特性

前節では内焦式の特定の望遠鏡で, 叉線交点が一定量だけ偏倚 (正常の Stadia 線位置まで偏倚) している場合の視点軌跡の直線度誤差の 1 実例について計算結果を示した。本節以降では前節の結果をさらに発展させて得られた結論のみを掲げる。対物レンズ系の合成主焦点距離 F_{∞}' が相等しく, かつ K_2 の値が相異なる 2 つの望遠鏡では, 叉線の一定偏倚に対しては K_1 の値は一定であつて, 非共点軸誤差 (器械軸交点の偏心誤差) はもつぱら K_2 の大きさに比例する。従つて F_{∞}' の相等しい内焦式望遠鏡では, 叉線の一定偏倚による非共点軸誤差は K_2 が小さいほど小さく, 特に $K_2 = 0$ なる望遠鏡では叉線の偏倚による非共点軸誤差は常に完全に 0 となる。換言すれば $K_2 = 0$ なる場合, この望遠鏡の視点軌跡 (一般に $K_2 > 0$ なる場合の視点軌跡の直線度よりも直線度が良好である) は叉線の偏倚のいかんにかかわらず常に器械中心点 (器械軸交点) を通るそれぞれ一定の直線であるとなし得るから, このような器械では叉線が偏倚していてもこの一定直線を空間中に振りまわして測量を実施するものと考えることができる。なお, $K_2 = 0$ なる望遠鏡の設計は内焦式 (狭義) において初めて可能であつて, 外焦式では不可能である。

表-1

路離(M)	水平誤差 (mm)		垂直誤差 (mm)		路離100mを基準としたときの垂直方向の直線度誤差 (mm)	
	下限	上限	下限	上限	下限	上限
2	11.7291	→ 2.6975	0.0586455	→ 604875	0.0574905	→ 98155
5	3.9275	4.1112	0.0196375	205560	0.0184825	98840
10	1.8439	9786	0.0092195	8930	0.0080645	92210
15	1.1941	3136	0.0059705	65680	0.0048155	58960
20	0.8768	9890	0.0043840	9450	0.0032290	42730
25	0.6888	7967	0.0034440	9835	0.0022890	33115
30	0.5644	6698	0.0028220	33490	0.0016670	26770
35	0.4763	5794	0.0023815	8970	0.0012265	22250
40	0.4102	5117	0.0020510	5585	0.0008960	18865
45	0.3591	4594	0.0017955	22970	0.0006405	16250
50	0.3180	4176	0.0015900	20880	0.0004350	14160
60	0.2570	3551	0.0012850	7755	0.0001300	11035
70	0.2136	3106	0.0010680	5530	0.0000000	8810
80	0.1809	2772	0.0009045	13860	〃	7140
90	0.1556	2513	0.0007780	12565	〃	5845
100	0.1344	2310	0.0006720	11550	〃	0000
110	0.1188	2143	0.0005940	10715	-0.0005610	〃
120	0.1051	2004	0.0005255	10020	-0.0006295	〃
130	0.0933	1878	0.0004665	9390	-0.0006885	〃
140	0.0833	1779	0.0004165	8895	-0.0007385	〃
150	0.0745	1692	0.0003725	8460	-0.0007825	〃
160	0.0660	1617	0.0003300	8085	-0.0008250	〃
170	0.0591	1547	0.0002955	7735	-0.0008595	〃
180	0.0535	1492	0.0002675	7460	-0.0008875	〃
190	0.0480	1436	0.0002400	7180	-0.0009150	〃
200	0.0438	1394	0.0002190	6970	-0.0009360	〃
220	0.0355	1297	0.0001775	6485	-0.0009775	0235
240	0.0285	1242	0.0001425	6210	-0.0010125	00510
260	0.0230	1172	0.0001150	5860	-0.0010400	00860
280	0.0188	1117	0.0000940	5585	-0.0010610	01135
300	0.0133	1075	0.0000665	5375	-0.0010885	01345
320	0.0105	1047	0.0000525	5235	-0.0011025	01485
340	0.0063	1006	0.0000315	5030	-0.0011235	01690
360	0.0035	978	0.0000175	4890	-0.0011375	01830
380	0.0008	950	0.0000040	4750	-0.0011510	01970
400	0.0000	922	0.0000000	4610	-0.0011550	02110
420	〃	908	〃	4540	-0.0011550	02180
440	〃	881	〃	4405	-0.0011550	02315
460	〃	867	〃	4335	-0.0011550	02385
480	〃	853	〃	4265	-0.0011550	02455
500	〃	839	〃	4195	-0.0011550	02525
1000	〃	672	〃	3360	-0.0011550	03360

(上限値は下限値と異なる末尾の数字のみを記載す)

4. 又線の偏倚量と偏倚した又線交点の Stadia 常数との関係

前節では相異なる2つの望遠鏡で又線が一定偏倚を有する場合について述べたが本節では同一望遠鏡で又線交点の偏倚量が増大する場合、これによって生ずる又線交点の Stadia 常数値の変化およびその他の誤差の影響の関係について結論のみを項別にかかげることとする。

(i) 又線偏倚量の変化と (Stadia) 倍率常数 K_1 との関係 (Stadia) 倍率常数 K_1 は又線交点の光軸からの偏倚量に逆比例して変化する。また一定距離にある標尺面上で、偏倚した又線交点と光軸点との間に挟まれて見える標尺長を L とすれば $K_1 L$ は又線の偏倚量に無関係に一定である。

(ii) 又線偏倚量の変化と (Stadia) 加常数 K_2 との関係 一定の対物レンズ系 (一定の望遠鏡) では (Stadia) 加常数 K_2 は又線交点の偏倚量に無関係に一定である。

(iii) 又線の偏倚量と視点軌跡の直線度との関係 同一の鉛直面上での視点軌跡の直線度誤差は、又線交点の光軸からの偏倚量に比例する。また視点軌跡の形状は望遠鏡を反転して無限遠視線を反転前のそれに一致させるときは、この無限遠視線に関して完全に対象な状態となる。

(iv) 又線の偏倚量と非共点軸誤差との関係 非共点軸誤差は又線交点の光軸からの偏倚量にほぼ比例して増大する。

又線の偏倚による非共点軸誤差の大きさの程度は、又線交点が正常な Stadia 線の位置まで偏倚した第2節の場合を例にとれば $126 \times \frac{1}{200} = 0.63 \text{ mm}$ であつて、このために生ずる方向の誤差は距離 100 m に対して $1.3''$ である。

(v) Stadia 線の偏倚と視距誤差との関係 一定の実開隔を有する Stadia 線 (現実の Stadia 線はガラス板

上に描いてあるかまたは同一金属環に固定されているからこの条件に適合している)は実際上光軸に垂直にどのように偏倚しても光軸が水平なる限り, Stadia 線の間に挟まれて見える一定距離におかれた標尺の長さは常に一定である。従つて Stadia 線の変位は Stadia 測量に対して本質的になんらの誤差的影響も与えない。

(vi) 又線の偏倚と水準誤差との関係 視点軌跡の直線度誤差は又線交点の偏倚量が極めて大きい場合にも第2節の例のように内焦式については鉛直方向で極めて小さい。従つて又線交点の偏倚している場合にも, この場合の偏倚視準線(∞遠視準)とその水平指示器としての気泡管の軸との平行関係を保持せしめる限り, 又線の偏倚による水準誤差は生じない。換言すれば水準儀では視準線が光軸から偏倚している場合にも, 視準線(∞遠視準)と気泡管軸との平行調整のみが本質的には必要なのであつて, 又線交点の偏倚自体の調整は必ずしも必要ではない。

(vii) 又線の偏倚と測角誤差との関係 又線の偏倚によつて生ずる測角上の誤差は視準線の偏向(視準線が横軸と直角でないこと)による誤差を除けば実際上最悪の場合でも最小目盛分画の数分の一以下(非共点軌誤差)である。またこのための測角上の誤差は, 極度の精密を要する場合にも, 望遠鏡を反転して得た観測値との相加平均をとることによつて完全に消去することができる。従つて又線の偏倚にもとづく測角上の誤差をなくするためには視準線の偏向をなくするように又線交点の位置を調整すればよい(これには既往の“縦又線の1/4調整法”を用いる。また視準線の偏向にもとづく測角上の誤差はもつぱら水平測角上においてのみ現われるのであるが, 高度角の相等しい2点間の水平測角上では誤差を生じない)。

6. 実験による検証

筆者は前述の解析による諸結果を観測実験によつて検証するため

(1) Carl Zeiss Jena 社製 Alignment Telescope および焦点距離=2.250 m の大 collimator (マイクロメーター又線付)による“Wild T2 の視点軌跡および合焦による視軸の偏差(JIS B 7901~7902,4 に規定するもの)”に関する室内実験。

(2) Wild N3 の Stadia 線位置の視点軌跡に関する野外実験。

(3) 15 in Y-Level の又線交点偏倚の場合の野外実験。

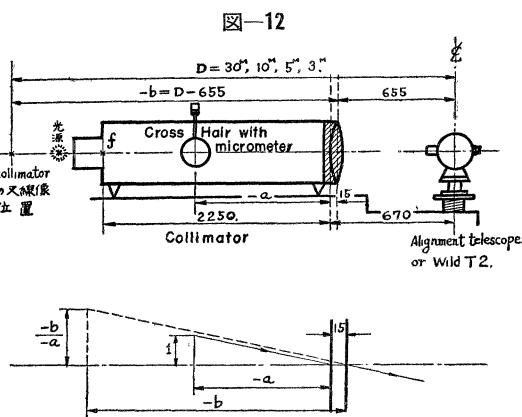
(4) 5 1/2 in 20" 読みトランシットの又線交点偏倚の場合の野外実験。

(5) collimator 設備による Wild T2, T3 の分度円誤差の検定および調整に関する室内実験。

(6),(5) 項の結果を基として得た Wild T3 による野外観測値と(4) 項の観測値との比較に関する実験。

等の諸実験を実施した。本稿ではこれらの諸実験の全部を詳細に記載することは困難であるので次に一例として(1) の実験結果だけを簡単にかかげる。

(1) の実験は第2節で述べたように理論的には“視点軌跡の直線度誤差”が“合焦による視軸の偏差”などの工作精度に起因する誤差に比べて極めて小さいことの1 実例を得ることを目的として行つたもので, その実験方法としてはまず Carl Zeiss Jena 社製 Alignment telescope の又線交点を通る視準線を真直線と仮定し, この Alignment telescope により一たん, 大 collimator の ∞ 遠又線交点を視準し, この視準線上に大 collimator のマイクロメーター付各距離(30 M, 10 M, 5 M, 3 M)相当の又線交点を一直線上に整列させ, そのおのおの位置をマイクロメーターによつて読み取つておく。表-2 はこの観測値を示す。次に Alignment telescope の代り



に Wild T2 (No. 35089)をおき換え, これによつて大 collimator の ∞ 遠又線交点を一たん視準して後, 望遠鏡筒軸方向をそのままの状態で合焦用ツマミのみを用いて大 collimator の各距離相当の又線に次々に合焦し, マイクロメーターにより collimator の各又線交点像を Wild T2 の視準線上にのせ, このときのマイクロメーターの読みを読み取る。表-3 はこのようにして得た観測値である。表-2 および表-3 で mini Readings, max Readings とあるのは, マイクロメーターを押し進めるとき collimator の又線が初めて合致に至つたときのマイクロメーターの読みおよび正に collimator の又線が合致から分離せんとするときのマイクロメーターの読みを

表-2 Alignment telescope の視準によるマイクロメータ読取り値 (昭. 32. 2. 14. 13.00~16.00 18°C, 湿度 53%, 晴)

Collimator 又線像の距離 D	上下方向マイクロ		左右方向マイクロ	
	mini Readings	max Readings	mini Readings	max Readings
30 M	16.197	16.242	15.154	15.224
	16.137	16.227	15.107	15.197
	16.203	16.253	15.165	15.230
	16.147	16.195	15.095	15.180
	16.147	16.222	15.146	15.191
(mean)	16.1618	16.2278	15.1334	15.2044
10 M	14.136	14.181	13.461	13.531
	14.113	14.195	13.457	13.542
	14.105	14.170	13.405	13.495
	14.145	14.225	13.446	13.511
	14.159	14.209	13.440	13.510
(mean)	14.1316	14.1960	13.4418	13.5178
5 M	15.210	15.275	12.218	12.288
	15.190	15.240	12.197	12.252
	15.258	15.303	12.205	12.270
	15.223	15.293	12.254	12.307
	15.208	15.273	12.230	12.275
(mean)	15.2178	15.2768	12.2208	12.2784
3 M	16.971	16.996	11.955	11.995
	16.974	17.009	11.980	12.015
	16.965	16.970	11.976	12.001
	16.975	16.998	11.965	11.998
	16.980	17.017	11.970	12.000
(mean)	16.9730	16.9980	11.9692	12.0018

(単位: mm)

表-3 Wild T2 (No. 35089) の各又線位置での視準によるマイクロメータ読取り値 (単位: mm)

Collimator の 又線像ま での距離 D	Upper Stadia				Center Cross Hair				Lower Stadia			
	上下方向マイクロ		左右方向マイクロ		上下方向マイクロ		左右方向マイクロ		上下方向マイクロ		左右方向マイクロ	
	mini Readings	max Readings	mini Readings	max Readings	mini Readings	max Readings	mini Readings	max Readings	mini Readings	max Readings	mini Readings	max Readings
30 M	15.742	15.792	15.236	15.281	15.746	15.785	15.239	15.283	15.745	15.775	15.245	15.270
	15.733	15.788	15.271	15.341	15.783	15.824	15.242	15.277	15.740	15.765	15.223	15.248
	15.794	15.829	15.250	15.305	15.752	15.790	15.245	15.284	15.792	15.812	15.227	15.257
	15.718	15.768	15.232	15.267	15.740	15.795	15.235	15.280	15.756	15.791	15.214	15.244
	15.748	15.818	15.256	15.311	15.735	15.770	15.220	15.270	15.735	15.760	15.220	15.250
(mean)	15.7470	15.7990	15.2490	15.3010	15.7512	15.7928	15.2362	15.2788	15.7536	15.7806	15.2258	15.2538
10 M	12.184	12.239	14.013	14.078	12.205	12.237	14.015	14.069	12.241	12.266	14.020	14.070
	12.174	12.224	14.023	14.088	12.240	12.285	14.005	14.055	12.260	12.300	14.011	14.051
	12.162	12.207	14.018	14.078	12.247	12.293	13.995	14.050	12.253	12.293	13.999	14.034
	12.179	12.229	14.014	14.069	12.183	12.240	14.010	14.061	12.230	12.280	13.970	14.010
	12.172	12.232	14.015	14.075	12.195	12.245	14.008	14.058	12.245	12.295	14.000	14.050
(mean)	12.1742	12.2262	14.0166	14.0776	12.2140	12.2600	14.0066	14.0586	12.2458	12.2868	14.0000	14.0430
5 M	11.606	11.656	13.243	13.283	11.705	11.745	13.254	13.294	11.790	11.820	13.250	13.285
	11.600	11.645	13.255	13.300	11.693	11.738	13.255	13.300	11.798	11.823	13.246	13.276
	11.599	11.644	13.250	13.295	11.701	11.740	13.248	13.289	11.792	11.822	13.249	13.279
	11.607	11.647	13.252	13.292	11.742	11.775	13.240	13.285	11.785	11.810	13.243	13.273
	11.610	11.650	13.261	13.306	11.722	11.762	13.250	13.295	11.780	11.820	13.242	13.272
(mean)	11.6044	11.6484	13.2522	13.2952	11.7126	11.7520	13.2494	13.2926	11.7890	11.8190	13.2460	13.2770
3 M	11.220	11.260	13.558	13.583	11.325	11.355	13.557	13.579	11.540	11.550	13.558	13.578
	11.217	11.252	13.565	13.600	11.332	11.357	13.552	13.582	11.545	11.555	13.552	13.572
	11.192	11.217	13.549	13.574	11.348	11.370	13.550	13.585	11.544	11.554	13.547	13.567
	11.201	11.231	13.560	13.600	11.330	11.365	13.549	13.575	11.545	11.555	13.552	13.567
	11.210	11.240	13.557	13.577	11.327	11.360	13.555	13.580	11.546	11.556	13.548	13.568
(mean)	11.2080	11.2400	13.5578	13.5868	11.3324	11.3614	13.5526	13.5802	11.5440	11.5540	13.5514	13.5704

示す。観測はすべて望遠鏡正位である。

表-2 の各 5 回の観測値の平均値から表-3 の各平均値を差引き、各又線付属マイクロメータの平均移動量を算出し、さらにこれを実移動量に換算したのが表-4 である。図-13 は実験装置の略図である。

表-4 中の σ の値は Alignment telescope, Upper stadia, Center cross hair, Lower stadia の読みの見本分散から算出した collimator 又線像の実移動量の mean の値に対する標準偏差である。

本実験で collimator の ∞ 遠又線というのは距離 58 m 相当の固定又線で、また Wild T2 は 3 節で述べた $K_2 = 0$ なる望遠鏡の特性を持つ器械であるので、距離 58 m と距離 10 m の像位置ぶ直線を視点軌跡の漸近線の代用としてこの直線に対する偏差を算出し、これによつて Wild T2 の各又線位置に対応する視点軌跡の直線度を比較すれば表-5 の通りである。この表の“偏差”はいずれも望遠鏡正位によつて得られた数値であるにもかかわらず Center cross hair を中心として対象的に反方向することなく同一傾向の値を示している。これはこれらの数値がほとんど工作に基づいた“合焦による視軸の偏差”の結果であつて、視点軌跡が双曲線であることによる直線度誤差の結果ではないことを意味するものである。他の実験については本稿では省略するがそれらから得られた結果はいずれも著者が解析から得た結果の正しいことを実証するものであつた。このような視点軌跡に

表-4

(単位: mm)

又線位置	距離 m	上下方向の像実移動量				左右方向の像実移動量			
		mini	max	mean	$\pm\sigma$	mini	max	mean	$\pm\sigma$
Upper Stadia	30	5.8247	6.0213	5.9230	± 0.1615	-1.6233	-1.3565	-1.4899	± 0.1329
	10	10.0871	10.1510	10.1190	± 0.01881	-2.9621	-2.8848	-2.9234	± 0.02783
	5	10.5913	10.6352	10.6132	± 0.02332	-3.0231	-2.9804	-3.0018	± 0.01634
	3	11.7734	11.7591	11.7662	± 0.028708	-3.2443	-3.2369	-3.2406	± 0.028731
Center Cross Hair	30	5.7657	6.1084	5.9370	± 0.1382	-1.4435	-1.0447	-1.2441	± 0.1034
	10	9.8820	9.9769	9.9294	± 0.01629	-2.9106	-2.7869	-2.8488	± 0.02895
	5	10.2741	10.3316	10.3028	± 0.02351	-3.0149	-2.9727	-2.9938	± 0.01540
	3	11.5194	11.5112	11.5153	± 0.027749	-3.2337	-3.2234	-3.2285	± 0.026936
Lower Stadia	30	5.7320	6.2797	6.0058	± 0.1679	-1.2975	-0.6937	-0.9956	± 0.1099
	10	9.7182	9.8387	9.7784	± 0.01651	-2.8766	-2.7065	-2.7916	± 0.02798
	5	10.0502	10.1352	10.0927	± 0.02299	-3.0050	-2.9270	-2.9660	± 0.01551
	3	11.0872	11.1179	11.1026	± 0.026653	-3.2312	-3.2034	-3.2173	± 0.027098

表-5

(単位: mm)

又線位置	距離 M	上下方向			左右方向		
		実移動量	真直線	偏差	実移動量	真直線	偏差
Upper Stadia	58	0	0	0	0	0	0
	30	5.9230	5.9028	+0.0202	-1.4899	-1.7053	+0.2154
	10	10.1190	10.1190	0	-2.9234	-2.9234	0
	5	10.6132	11.1731	-0.5599	-3.0018	-3.2279	+0.2261
3	11.7662	11.5947	+0.1715	-3.2406	-3.3497	+0.1091	
Center Cross Hair	58	0	0	0	0	0	0
	30	5.9370	5.7922	+0.1448	-1.2441	-1.6618	+0.4177
	10	9.9294	9.9294	0	-2.8488	-2.8488	0
	5	10.3028	10.9637	-0.6609	-2.9938	-3.1456	+0.1518
3	11.5153	11.3774	+0.1379	-3.2285	-3.2643	+0.0358	
Lower Stadia	58	0	0	0	0	0	0
	30	6.0058	5.7041	+0.3017	-0.9956	-1.6284	+0.6328
	10	9.7784	9.7784	0	-2.7916	-2.7916	0
	5	10.0927	10.7970	-0.7043	-2.9660	-3.0824	+0.1164
3	11.1026	11.2044	-0.1018	-3.2173	-3.1987	-0.0186	

関する結論は測量用望遠鏡だけでなく一般の観測用望遠鏡についても適用できるものである。

最後に本稿について種々有益な御教示を頂いた防衛大学 新郷教授, 東京大学 筒井教授, 同 丸安教授並びに日本光学工業 K K 森本良雄氏に深謝申上げる。

参考文献

- 1) Jordan-Eggert; Handbuch der Vermessungskunde, I-III.
- 2) T. Shingo; The Integral Adjustments of the Cross-Hairs in a Fransit and a Wye-Level (The memoir of the faculty of Engineering, Hokkaido Imperial University. Vol. III, No. 8)
- 3) Kendall M.G.; The Advanced Theory of Statistics.
- 4) Boegehold; Geometrischen Optik.
- 5) W.E. Deming; Statistical Adjustment of Data.

(昭.33.12 19)